

**М. Д. Скрябин, А. А. Хлыбов**

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева,  
г. Нижний Новгород

*e-mail: nntu@nntu.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *А. А. Хлыбов*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТОВАННОГО СЛОЯ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ

Проведено исследование структуры и физико-механических свойств цементованных слоёв хромоникелевой стали 12ХН3А. Произведена качественная и количественная оценка насыщения поверхности, проведено измерение микротвёрдости. Предложен изотермический отжиг для более точного определения цементованного слоя по микроструктурному анализу.

*Ключевые слова:* цементация, цементованный слой, химико-термическая обработка, микротвёрдость, микроструктурное исследование.

***М. D. Skryabin, A. A. Hlybov***

## RESEARCH OF PROPERTIES OF THE CEMENTED LAYER CHROMONICKEL STALY

The research of structure and physicomechanical properties of the cemented coverings of chromonickel steel 12ХН3А is conducted. Quality and quantitative standard of saturation of a surface is made, measurement of microhardness is taken. Isothermal annealing for more exact definition of the cemented layer according to the microstructural analysis is offered.

*Keywords:* cementation, the cemented layer, chemical heat treatment, microhardness, microstructural research.

Цементация хромоникелевых сталей является классическим и повсеместно применяемым методом поверхностного упрочнения. Исследование в области цементации является актуальным, поскольку в практике работы предприятий возникает необходимость корректировать процесс цементации и последующую упрочняющую термическую обработку для получения оптимальной структуры слоя.

Одним из регламентируемых параметров цементации, который гарантирует работоспособность конструкционной детали в высоконапряжённых условиях работы, является толщина цементованного слоя [1].

В хромоникелевых сталях определить толщину цементованного слоя по микроструктуре после охлаждения на воздухе от температуры

цементации с высокой точностью достаточно сложно по следующим причинам [2]:

1. Получается многослойная структура от поверхности к сердцевине, состоящая из мартенсита, аустенита, троостита, сорбита и феррита.
2. Поскольку хромоникелевые стали закаливаются на воздухе, то структурные зоны менее чётко видны и расположены ближе к сердцевине.
3. Склонность таких сталей к формированию вторичной структурной полосчатости [3] усугубляет трудности при определении толщины цементованного слоя.

Поэтому для установления структурных признаков с целью определения толщины цементованного слоя приходится ориентироваться на параметр, которых не зависит от скорости охлаждения деталей. Данным параметром является распределение углерода по глубине изделия. Приняв в качестве критерия – расстояние от поверхности до зоны с содержанием углерода в среднем 0,4 %. Предварительно следует определить, какая структура для данной марки стали при конкретной скорости охлаждения соответствует указанному содержанию углерода. Что значительно усложняет данную методику определения слоя.

В массовом производстве толщину цементованного слоя определяют по макроструктуре, получаемую в водном растворе азотной кислоты. В этом случае за толщину принимают расстояние от поверхности до границы тёмной зоны без учёта части переходного слоя. Из-за явления подкаливания на воздухе, тёмная троститная зона распространяется на полную глубину слоя и в определении толщины цементованного слоя до полупереходной зоны увеличивается действительная величина слоя [4].

В хромоникелевых сталях точно определить толщину цементованного слоя возможно на поперечном шлифе по распределению микротвёрдости от поверхности по глубине слоя до контрольного значения микротвёрдости полупереходного слоя, что соответствует содержанию углерода 0,4 % [5].

Исходя из вышесказанного, возникает необходимость разработки методики, для определения полупереходной зоны с большей точностью.

Для чёткого разграничения сердцевины, переходного и цементованного слоя на микроструктуре хромоникелевых сталей предложена дополнительная термическая обработка после цементации – изотермический отжиг.

Режим изотермического отжига включает в себя нагрев образца до температуры аустенитного состояния, выдержку при данной температуре в течение 0,5 часов с целью получения гомогенного аустенита. Охлаждение на воздухе до температуры 590–630 °С, и выдержка при данной температуре в течение 2 часов, когда переохлаждённый аустенит цементованной хромоникелевой стали с содержанием углерода от 0,8 до

0,3 % обладает минимальной устойчивостью. Далее охлаждение с печью до 300 °С, потом на воздухе. В итоге получается равновесная структура, где переходная зона с соотношением 50 % феррита и 50 % перлита определяется наиболее точно [6].

В качестве эксперимента в печах СШЦ 6,6/9,5 была проведена газовая цементация образцов из стали 12ХН3А, обеспечивающему толщину цементованного слоя до полупереходной зоны 1,00–1,20 мм.

Из-за повышенного содержания никеля сталь 12ХН3А в процессе охлаждения после газовой цементации на воздухе подверглась подкаливанию (рис. 1). В результате травления в азотной кислоте, тёмная троститная зона распространилась на полную глубину слоя (до участков с 0,25–0,30 % углерода). Следовательно, толщина цементованного слоя оказалась больше действительной величины слоя до полупереходной зоны. Для доказательства данного утверждения было произведено измерение микротвёрдости на поперечном шлифе после цементации от поверхности к сердцевине (рис. 2).

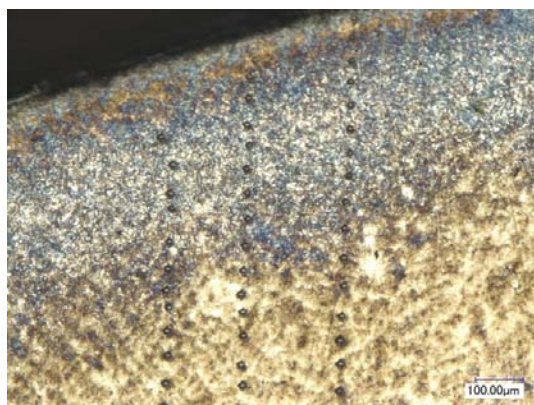


Рис. 1. Микроструктура цементованного слоя стали 12ХН3А после цементации и охлаждения на воздухе

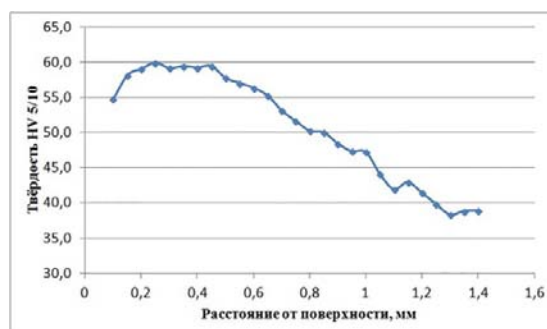


Рис. 2. Распределение микротвёрдости от поверхности к сердцевине в стали 12ХН3А после цементации и охлаждения на воздухе

Изотермический отжиг образцов из стали 12ХН3А после газовой цементации позволяет избежать структурной полосчатости и

сформировать равновесную феррито-перлитную структуру (рис. 3). В результате получаем микроструктуру, на которой можно наиболее точно определить полупереходную зону с равным количеством феррита и перлита, и содержанием углерода в среднем 0,4 %.



Рис. 3. Микроструктура поверхностного слоя стали 12ХН3А после изотермического отжига

1. Толщина цементованного слоя является одним из основных регламентированных параметров оценивающих качество цементации.
2. Поскольку хромоникелевые стали склонны к структурной вторичной полосчатости [3] и подкаливаются на воздухе, то определить цементованный слой до полупереходной зоны достаточно сложно.
3. Изотермический отжиг позволяет определить полупереходную зону наиболее точно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Г. А. Химико-термическая обработка металлов: учеб. пособие для вузов / Г. А. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. Москва : Изд-во Металлургия, 1985. 256 с.
2. Валько А. Л. Определение толщины цементованного слоя хромоникелевых сталей / А. Л. Валько, Е. И. Мосунов, С. П. Руденко // Литьё и металлургия. 2012. Т. 107. № 66. С. 106–109.
3. Воробьев Р. А. Структура промышленных сплавов. Углеродистые и легированные стали: учеб. пособие / Р. А. Воробьев, В. Н. Дубинский. Нижний Новгород : НГТУ им. Алексеева, 2015. 101 с.
4. Коротин И. М. Контроль качества термической обработки металлов: учеб. пособие / И. М. Коротин. Москва : Высшая школа, 1980. 192 с.
5. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов: учебник / И. И. Новиков. 2 изд. Москва : Металлургия, 1974. 400 с.
6. ГОСТ 8233–56. Сталь. Эталоны микроструктур. Москва : Издательство стандартов, 1956. 12 с.